



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO
INFRAESTRUTURA, TECNOLOGIA E
TERRITORIO (ILATIT)**

GEOGRAFIA - BACHARELADO

**MODELAGEM COM AUTÔMATOS CELULARES DA DINÂMICA DOS USOS DAS
TERRAS EM FOZ DO IGUAÇU E SANTA TEREZINHA DE ITAIPU-PR**

VINICIUS FERNANDES DE OLIVEIRA

Foz do Iguaçu
2019

**MODELAGEM COM AUTÔMATOS CELULARES DA DINÂMICA DOS USOS DAS
TERRAS EM FOZ DO IGUAÇU E SANTA TEREZINHA DE ITAIPU-PR**

VINICIUS FERNANDES DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Infraestrutura, Tecnologia e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Foz do Iguaçu
2019

VINICIUS FERNANDES DE OLIVEIRA

**MODELAGEM COM AUTÔMATOS CELULARES DA DINÂMICA DOS USOS DAS
TERRAS EM FOZ DO IGUAÇU E SANTA TEREZINHA DE ITAIPU-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Infraestrutura, Tecnologia e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami
UNILA

Prof. Dra. Léia Aparecida Veiga
UNILA

M.^a Raquel Freitas Duarte
Itaipu Binacional

Foz do Iguaçu, 12 de dezembro de 2019.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): VINÍCIUS FERNANDES DE OLIVEIRA

Curso: GEOGRAFIA - BACHARELADO

	Tipo de Documento
(X) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(X) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: MODELAGEM COM AUTÔMATOS CELULARES DA DINÂMICA DOS USOS DAS TERRAS EM FOZ DO IGUAÇU E SANTA TEREZINHA DE ITAIPU-PR.

Nome do orientador(a): Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Data da Defesa: 12/12/2019

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

Aos meus avós, por todo amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus que dá sabedoria e provê todo conhecimento e entendimento.

À Itaipu Binacional pela oportunidade de estagiar em suas dependências, aos companheiros da OD.RA pela troca de experiências profissionais, em especial ao João Bueno do Prado, supervisor paciente e capacitado, que me orientou magistralmente durante todo o período.

À professora Mara, quem primeiro me apoiou e orientou e, ao longo do curso, deu-me oportunidades para o desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos professores, pelas inúmeras conversas sobre o curso, sobre a profissão e sobre a vida, em especial aos professores Cristóvão, Paulo e Marcelo, lev-os comigo.

Professora Léia, obrigado por ser luz em meio aos tempos sombrios que vivemos. Acalenta a alma estar contigo.

Aos cavaleiros do apocalipse, Ághata, Edimar e Luana, por tantos momentos inesquecíveis que passamos juntos. <3.

Aos amigos que encontrei em Foz, vocês foram fundamentais em minha permanência por aqui, em especial, Fernando, Diego, Shirley, Valentina, Tiago, Maria, Andrey, Victor, João Victor.

À Raquel Duarte e família, pelas conversas e conselhos. Por serem minha família aqui em Foz.

Ao professor, orientador e amigo, Samuel, pelos anos de orientação, confiança e inúmeros cafés, além das broncas, dos campos e dos conselhos. Espero ser um professor tão bom quanto você.

Bel, obrigado. Foz tornou-se mais leve com sua companhia.

Ao apoio e orações das famílias Fernandes e Oliveira.

À minha irmã por todo amor, aos irmãos e irmãs encontrados ao longo da vida, Lucas, Vanessa, Daiane. O ombro de vocês foi essencial.

Ao companheiro dos últimos meses, que ouviu pacientemente cada surto, cada ansiedade e cada choro. Gabriel, você é fantástico. Amo-te.

Ao Ted, cãopanheiro diário.

Aos meus pais pelo apoio, pelo carinho, pela preocupação. Sem falar das ligações, dos choros e risos, e das vitórias que juntos tivemos. Obrigado. Amo vocês.

Evito pensar para não me tornar socialmente perigoso.
André Dahmer

*O que não sabe é um ignorante, mas o que sabe e não
diz nada é um criminoso.*
Bertolt Brecht

OLIVEIRA, Vinícius Fernandes de. **Modelagem com autômatos celulares da dinâmica dos usos das terras em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu–PR**. 2019. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia - Bacharelado) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

RESUMO

As modificações pela qual passa a paisagem são fatores determinantes na busca de informação para a compreensão desses fenômenos, que serve de base para os mais diversos planejamentos e gestão territorial. Assim, objetiva-se simular a dinâmica dos usos das terras em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu para o ano de 2017, mediante modelagem com autômatos celulares. Em termos de procedimentos metodológicos, foi realizado levantamento bibliográfico em fonte de dados secundários como livros e trabalhos acadêmicos. Os dados secundários e primários foram trabalhados a partir da utilização de diferentes técnicas e ações. Foram processados dados da série Landsat, criados arquivos de assinaturas espectrais, produzidos mapas temáticos de usos das terras, aliados a modelagem de autômatos celulares combinados à cadeia de Markov por serem ferramentas primordiais para se trabalhar e para obter resultados precisos e confiáveis. Por fim, foi utilizado o coeficiente Kappa para avaliar a acurácia do modelo. Verificou-se ao final da pesquisa que o resultado é próximo à realidade, o que valida e confirma o uso de modelos de autômatos celulares como método efetivo e prático para a modelagem dos usos das terras, além da aplicabilidade em diferentes estudos das diferentes áreas da geografia.

Palavras-chave: Markov. Landsat. Coeficiente Kappa. Modelagem. Análise espacial.

OLIVEIRA, Vinícius Fernandes de. **Modeling with cellular automata of the dynamics of land uses in Foz do Iguaçu and Santa Terezinha de Itaipu-PR**. 2019. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia - Bacharelado) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

ABSTRACT

The changes through which the landscape passes are determining factors in the search for information for the understanding of these phenomena, which serves as the basis for the most diverse planning and territorial management. Thus, it aims to simulate the dynamics of land uses in Foz do Iguaçu and Santa Terezinha de Itaipu for the year 2017, through modeling with cellular automata. In terms of methodological procedures, a bibliographic survey was conducted in source of secondary data such as books and academic papers. Secondary and primary data were worked from the use of different techniques and actions. Data from the Landsat series, created spectral signature files, produced thematic maps of land uses, combined with the modeling of cellular automata combined with the Markov chain because they are primordial tools to work and for accurate and reliable results. Finally, the Kappa coefficient was used to evaluate the accuracy of the model. It was verified at the end of the research that the result is close to reality, which validates and confirms the use of models of cellular automata as an effective and practical method for the modeling of land uses, in addition to applicability in different studies of different geography areas.

Key words: Markov. Landsat. Kappa coefficient. Modelling. Spatial analysis.

OLIVEIRA, Vinícius Fernandes de. **Modelado con autómatas celulares de la dinámica de usos de la tierra en Foz de Iguazú y Santa Terezinha de Itaipu-PR.** 2019. 41. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia - Bacharelado) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

RESUMEN

Los cambios por los que pasa el paisaje son factores determinantes en la búsqueda de información para la comprensión de estos fenómenos, que sirve de base para la más diversa planificación y gestión territorial. Así, pretende simular la dinámica de los usos del suelo en Foz do Iguazú y Santa Terezinha de Itaipu para el año 2017, a través del modelado con autómatas celulares. En términos de procedimientos metodológicos, se realizó una encuesta bibliográfica en origen de datos secundarios como libros y artículos académicos. Los datos secundarios y primarios se trabajaron a partir del uso de diferentes técnicas y acciones. Los datos de la serie Landsat, crearon archivos de firma espectral, produjeron mapas temáticos de usos de la tierra, combinados con el modelado de autómatas celulares combinados con la cadena Markov porque son herramientas primordiales para trabajar y para obtener resultados precisos y fiables. Finalmente, el coeficiente Kappa se utilizó para evaluar la precisión del modelo. Se verificó al final de la investigación que el resultado está cerca de la realidad, lo que valida y confirma el uso de modelos de autómatas celulares como un método eficaz y práctico para el modelado de usos de la tierra, además de la aplicabilidad en diferentes estudios de diferentes áreas geográficas.

Palabras clave: Markov. Landsat. Coeficiente Kappa. Modelaje. Análisis espacial.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

As céleres modificações pelas quais passa a paisagem, sejam por agentes naturais, de acordo com as condições climáticas e o lugar, ou acentuadas pela ação antrópica, nos instiga à sua compreensão e entendimento, através da busca de informações, servindo de base para o auxílio nos mais diversos tipos de planejamentos (o territorial, o urbano e o ambiental), bem como na análise dos variados processos antrópicos existentes e no suporte para gestão territorial.

É neste contexto que as geotecnologias, como o geoprocessamento, são utilizadas como ferramentas de suporte, pois permitem identificar e analisar a intensidade da ação antrópica na área de estudo. Além disso, há também os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), constituídos através de instrumentos automatizados para aquisição, processamento, gerenciamento, análise, síntese e apresentação dos dados que interessam ao estudo geográfico (MARTINELLI, 2013).

Câmara *et al.* (2003), argumenta que o fundamento básico da geoinformação, termo utilizado para geotecnologias, é a "construção de representações computacionais do espaço. Além de serem instrumentos técnicos onipresentes, que vem afetando tanto as relações de produção quanto às relações sociais", finaliza com a afirmação: "computadores são ferramentas de representação da realidade".

Usos das terras, segundo IBGE (2013), é "a representação sintética de um conjunto de atividades econômicas com expressão espacial que, de alguma forma, interage nesses espaços", sofrendo influência da organização e dinâmica dos processos políticos, econômicos e sociais, atuantes sobre determinada área ou região.

Para MAS (1999), é possível analisar as transformações, dinâmica, ocorridas em determinado período, através da comparação direta entre duas datas, cada qual com um mapa de uso e cobertura. E, dessa forma, com o auxílio de modelos, aplicar para o prognóstico das transformações futuras.

Para a representação dos modelos espaço-temporais, faz-se necessário a utilização de técnicas e abstrações capazes de processarem tais fenômenos dinâmicos. As regras que regem esse dinamismo necessitam ser expressas por equações interativas, incorporadas ao ambiente SIG, permitindo tal simulação (CÂMARA, *et al.*, 2003).

A simulação é concebida mediante a construção de modelos espaciais, para explorar ideias e hipóteses sobre como os sistemas espaciais operam e aplicar tal simulação para resolver problemas reais em contextos geográficos (BENENSON e

TORRENS, 2004).

Com o uso da modelagem, espera-se dispor de cenários que: a) configuram a continuidade das transformações (cenários estacionários); b) simulam transformações determinadas (cenários prescritivos), ou c) exploram novas mudanças através de novas hipóteses (cenários exploratórios não-estacionários). Os cenários estacionários simulam as transformações que ocorrerão por meio da análise das transformações ocorridas no passado. Podem ser estabelecidos por modelos markovianos associados a autômatos celulares (MACEDO *et al.*, 2013).

Benenson e Torrens (2004) definiram autômato como sendo um mecanismo de processamento com características que mudam ao longo do tempo com base em suas características internas, regras e entrada externa. São usados para processar informações de seu entorno e suas características são alteradas de acordo com regras que regem sua reação a essas entradas. E autômatos celulares um sistema de autômatos finitos espacialmente localizados e interligados.

Autômatos celulares podem ser utilizados em diferentes modelos para diferentes aplicações: na biologia evolutiva, nos sistemas dinâmicos da física, na dinâmica das reações químicas, comportamento de mercados, entre outros (CASTRO, CASTRO, 2008).

Desde 1980, o município de Foz do Iguaçu tem passado por grandes modificações em sua paisagem, o término da construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu e a formação de seu lago; o desmembramento do município de Santa Terezinha de Itaipu; as políticas socioambientais desenvolvidas pela Itaipu, por meio do programa Cultivando Água Boa, a consolidação do Parque Nacional do Iguaçu, são exemplos da dinâmica pelo qual passou a paisagem.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi simular a dinâmica dos usos das terras em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, mediante modelagem com autômatos celulares.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Confeccionar o banco de dados geoespaciais;
- b) Produzir mapas dos usos das terras;
- c) Gerar modelo com autômatos celulares, e
- d) Verificar a acurácia do modelo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A busca por uma abordagem integrada que demonstre as relações homem e meio, juntamente com seus processos naturais, com a possibilidade de compreender e analisar sua estrutura espacial, pode ser encontrada através da modelagem de autômatos celulares. A modelagem por autômatos celulares pode ser utilizada como ferramenta para a análise e observação das diferentes mudanças ocorridas no espaço e no tempo, além de fundamentar e auxiliar no planejamento e ordenamento territorial. Além disso, seu desenvolvimento é baseado na estruturação de ideias sequenciais, relacionando-se com o sistema no qual está inserido de forma compreensível, expressando as relações entre seus elementos (TRENTIN, FREITAS, 2010).

Foram fatores motivadores para mim, a facilidade e habilidade, além do interesse, em trabalhar e pesquisar as questões relacionadas ao geoprocessamento e ao sensoriamento remoto. Fatores presentes durante toda a caminhada acadêmica, através de trabalhos reconhecidos e premiados por sua qualidade e inovação.

Ademais, a própria dinâmica ocorrida na área de estudo é um motivo, a onipotência do lago da Itaipu, a exuberância do Parque Nacional do Iguaçu e a imensidão do cultivo de soja e milho, são elementos que surpreendem a todos.

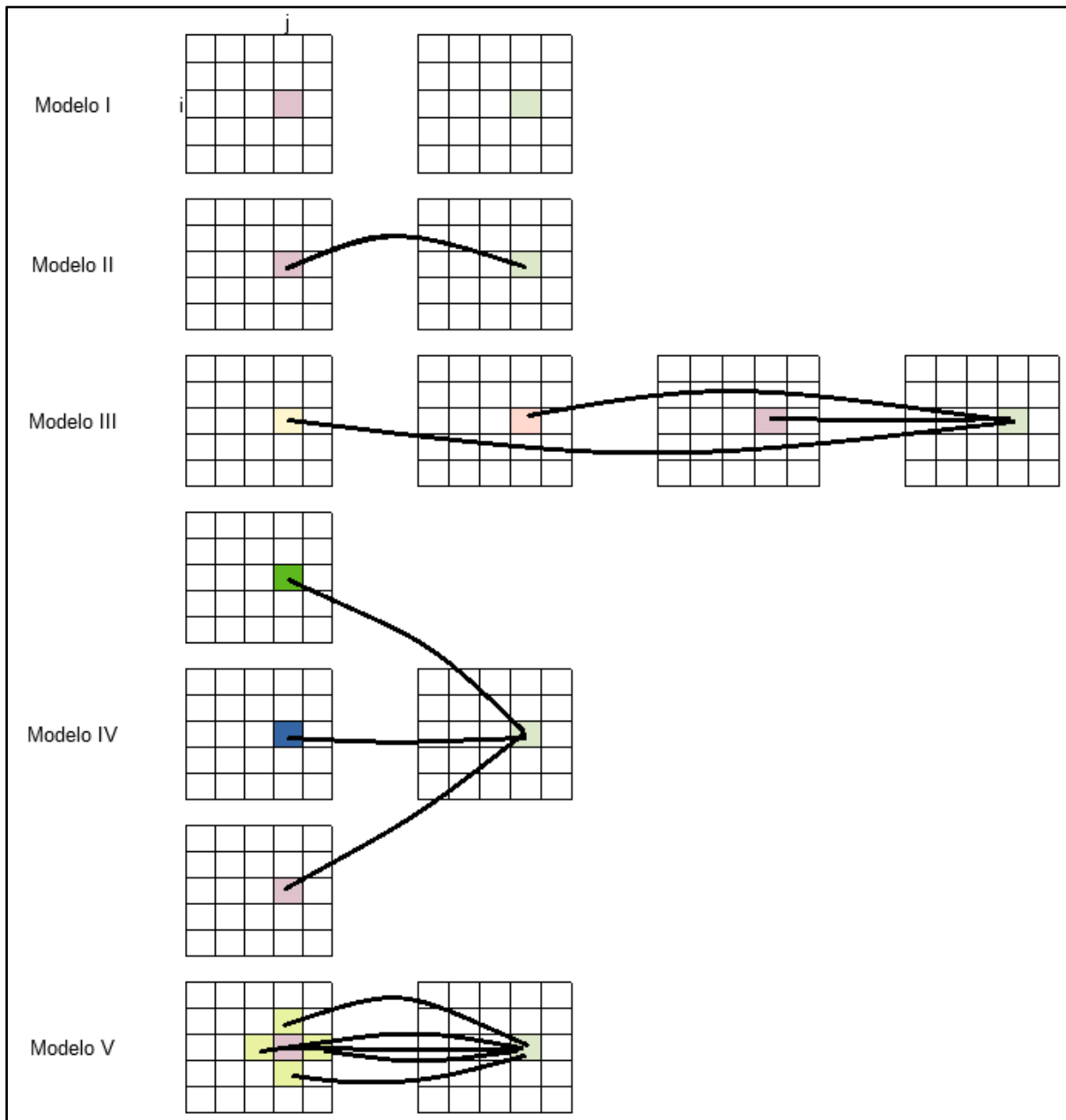
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tobler (1979) apresentou uma metodologia para aplicação de autômatos celulares em estudos geográficos. Além disso, destaca a importância da vizinhança das células, fundamental para delinear suas características após determinado período de tempo, a “primeira lei da Geografia: tudo está relacionado a tudo mais, mas coisas

próximas estão mais relacionadas do que coisas distantes” (TOBLER, 1970).

Tobler (1979), propõe cinco tipos de modelos celulares para representar a dinâmica na célula, célula g_{ij}^t em algum lapso temporal, $g_{ij}^{t+\Delta t}$ (Figura 01).

- I. O modelo independente: $g_{ij}^{t+\Delta t}$ é variação aleatória que não estabelece relação com g_{ij}^t ;
- II. O modelo dependente: O uso da terra no local i,j no momento $t + \Delta t$, depende do uso da terra anterior naquele local $g_{ij}^{t+\Delta t} = F(g_{ij}^t)$;
- III. O modelo histórico: O uso da terra na posição i,j no tempo $t + \Delta t$ depende dos vários usos da terra anteriores naquele local;
- IV. O modelo multivariado: O uso da terra no local i,j é dependente de várias outras variáveis nesse local: $g_{ij}^{t+\Delta t} = F(u_{ij}^t, v_{ij}^t, w_{ij}^t \dots z_{ij}^t)$;
- V. O modelo geográfico: leva em consideração, além da célula g_{ij}^t , os usos nas células vizinhas ($g_{i\pm p}^t, g_{j\pm q}^t$) para projetar o uso das terras na célula $g_{ij}^{t+\Delta t}$.

Figura 01 - Os cinco tipos de modelos.

Elaboração: Adaptado de Tobler (1979).

Batty, Xie e Sun (1999), utilizam autômatos celulares no contexto da geografia urbana, onde objetos normalmente são definidos como células mutáveis, assumindo diversos estados e sendo influenciadas por sua vizinhança imediata. Para uso do modelo, os autores criaram um programa independente para análise espacial. As células urbanas pertencem a um ciclo com três fases: iniciante, maduras e declinantes. Um grupo de equações define a probabilidade de a célula estar em uma dessas três fases, através de quatro princípios: distância; direção; densidade, e, transições.

Polidori (2004), apresenta um resumo dos principais avanços e

possibilidades de uso das técnicas de autômatos celulares:

- a) o modelo de White *et al.* (1997), citado por Polidori (2004): utilizaram autômato celular ligado à questão urbana, simulando um caso da cidade de Cincinnati, nos EUA; considerando o estado da célula e as características das células vizinhas; sujeitas a três variáveis: uso do solo urbano, topografia e acessibilidade; período temporal para a simulação é entre 15 e 25 anos, e o tamanho da célula é fixo, 250m por 250m.
- b) Por meio do aperfeiçoamento do trabalho anterior, os mesmos autores integraram variáveis sociais e culturais, buscando a representação da dinâmica urbanas nas ilhas do Caribe; através de modelos demográfico-econômico e climatológico; podendo ser atribuídos às células seis usos humanos e cinco usos naturais, o período temporal é de 40 anos.
- c) Clarke *et al.* (1997), citado por Polidori (2004), criaram o modelo de crescimento urbano, apontando probabilisticamente as células não urbanas convertidas para urbanas; com quatro tipos de crescimento urbano: expansão orgânica; difusão; espontânea ou autogeração; influência do sistema viário; a calibração é através de técnicas de Monte Carlo, em três etapas, com desagregação espacial crescente de 200, 100 e 50 metros, período temporal de 100 anos. O modelo foi aplicado para a baía de São Francisco, depois Washington e Baltimore, nos EUA.
- d) Através do modelo "SimLand", Wu (1996 e 1998), citado por Polidori (2004), aplicou na cidade de Guangzhou, na China, a simulação com autômato celular, com avaliação multicritérios e processos analíticos hierárquicos, em ambiente SIG; as células podem ser urbano e não-urbano, com vizinhança de 8 células (vizinhança de Moore), e três variáveis: áreas urbanas, áreas industriais e sistema viários; taxa de crescimento e grau de atratividade são determinados pelo usuário.
- e) Xie (1996) e, posteriormente Xie e Sun (2000), citados por Polidori (2004), concebem o modelo Modelo de Evolução e Dinâmica Urbana, para a simulação em cidades através das variáveis de uso do solo e o

sistema viário e declividade; as células podem ter quatro estados: habitacional, industrial, comercial, uso especial e vacante; influenciados por quatro tipos de transição: duplicação, mutação, sobrevivência ou morte; a transformação da célula é probabilística e controlada por regras de transição, de direção, de densidade e distância; a calibragem é feita por simulações interativas e comparativas com séries históricas.

- f) Em Li e Yeh (2000) e posteriormente em Li e Yeh (2001), citados por Polidori (2004), propõem um modelo que procura auxiliar a indicar a melhor forma urbana ligada ao desenvolvimento sustentável, através de critérios de maximização da área urbana e minimização de perdas da área agricultável, com probabilidades construídas por quatro variáveis: uso do solo urbano, uso do solo não urbano, demografia e declividade; a célula possui tamanho de 50m e vizinhança com 2 células ao redor da central; sendo testado na cidade de Dongguan, na China.

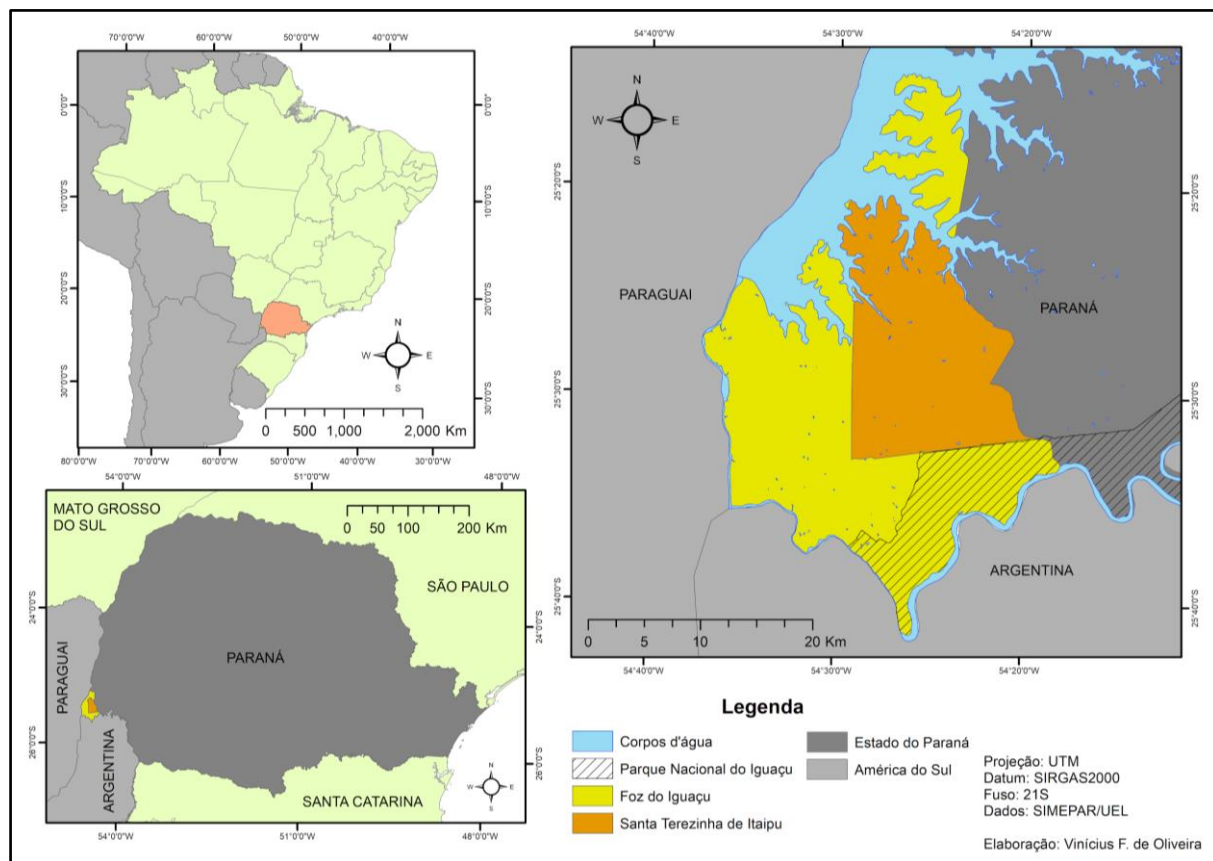
Esses trabalhos, conforme Polidori (2004), são precursores na modelagem através de autômato celular, mas revelam problemas ainda não resolvidos nesse campo de conhecimento:

a) os modelos têm dificuldade para explicitar as teorias subjacentes à lógica de produção do espaço urbano, sendo predominante estocásticos; b) fatores naturais têm inclusão limitada nas representações dos modelos, com restrições às variáveis (somente os atributos naturais previstos na estrutura do modelo podem participar) e ao papel que exercem no crescimento urbano (atuam somente como restrições ao crescimento); c) fatores urbanos também têm inclusão limitada, pois precisam-se ajustar à pré-classificação dos modelos, dificultando a inclusão das peculiaridades locais; d) fatores institucionais são raramente incluídos, o que traz dificuldades para a discussão de planos e políticas de crescimento; e) alguns modelos são inclusive restritos a um determinado local, não sendo aplicáveis em outras situações, quer reais quer abstratas; f) a desagregação espacial e a quantidade de entidades são limitadas pelos modelos, o que dificulta os delineamentos experimentais; g) os modelos exigem plataformas computacionais sofisticadas, frequentemente exigindo do usuário conhecimento em programação; h) os modelos são indisponíveis no Brasil, ao mesmo tempo em que acumulam vantagens tecnológicas com exclusividade para as culturas de origem (POLIDORI, 2004).

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada é composta pelos municípios paranaenses de Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu; e está localizada entre as longitudes 54°10'W e 54°40'W e as latitudes 25°12'S e 25°45'S, no extremo oeste do Estado do Paraná, fazendo parte da tríplice fronteira entre Paraguai, Argentina e Brasil (Figura 02). Nas cidades está parcialmente inserido o Parque Nacional do Iguaçu, considerado o maior remanescente da vegetação nativa original do Estado do Paraná (OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019), o último trecho da bacia hidrográfica do rio Iguaçu e da bacia hidrográfica Paraná III, além da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Figura 02 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

A área de estudos encontra-se sobre rochas extrusivas máficas de idades Juro-Cretáceas pertencentes ao Grupo São Bento, Formação Serra Geral. Predominantemente basálticas, essas rochas fazem parte de sucessivos derrames com intercalações de material sedimentar em suas mais diversas camadas extrusivas (SILVA E

VAINE, 2001).

Maack (2012), define as diferentes formas do relevo da microrregião com características do Terceiro Planalto Paranaense. Oka-Fiori e Santos (2006) caracterizaram a unidade geomorfológicas que ocorrem na área de estudos, prevalece o Planalto de Foz do Iguaçu caracterizado por vertentes convexas com declividades inferiores a 6%, vales em "V" abertos e baixa dissecação. Há também a unidade das Planícies Fluviais, com ocorrência limitada e caracterizada por sedimentos quaternários depositados ao longo dos vales dos rios.

Na área de estudo é possível encontrar diferentes tipos de solos, ricos em óxidos de ferro e alumínio derivados de rochas basálticas, são eles: Latossolos Vermelhos distroféricos e eutroféricos argilosos; Nitossolos Vermelhos eutroféricos e distroféricos argilosos; Neossolos Regolíticos eutróficos e distróficos; Gleissolos Háplicos; e Argissolo Vermelho eutroférico, conforme o Mapa de solos do Estado do Paraná (BHERING *et al.*, 2007).

A região enquadra-se no clima tropical sub quente, superúmido com subseca, na classificação proposta por Nimer (1972), o qual afirma que a precipitação anual é bem distribuída, encontrando-se entre 1.500mm e 1.750mm, com máximos nos meses de novembro, dezembro e janeiro, em oposição ao inverno caracterizado pelo menor nível das chuvas; no verão a temperatura média é acima de 24°C e no inverno acima de 15°C.

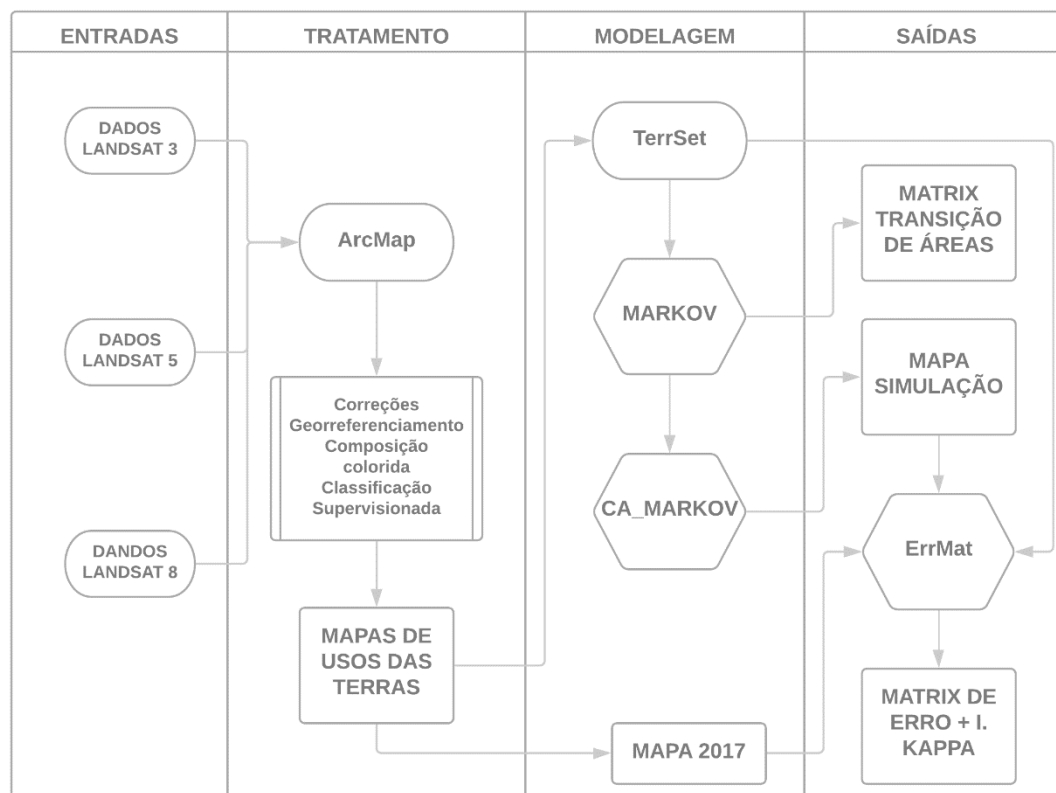
Segundo Reolon (2007), a região oeste do Paraná passou por quatro fases distintas de ocupação do espaço: a) a ocupação indígena; b) instalação dos jesuítas; c) introdução do sistema *obragero*, iniciado no fim do século XIX, para exploração de erva-mate e madeira, e d) a ocupação pelas companhias colonizadoras.

Além disso, a partir da década de 1930, durante o governo de Getúlio Vargas, ocorre o movimento "Marcha para o Oeste", com o intuito da ocupação do Oeste através da migração interna. O objetivo deste movimento era acentuar a presença brasileira na fronteira, antes dominada por argentinos e paraguaios; bem como a expansão da fronteira agrícola do país (REOLON, 2007; PRIORI *et al.*, 2012).

Outros elementos importantes no processo de ocupação são: a fundação do município de Foz do Iguaçu em 1914; criação do Parque Nacional do Iguaçu, em 1939; a construção da Ponte da Amizade, em 1965; a reestruturação e pavimentação da BR-277, em 1969; o início da construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, em 1975, e seu término em 1982, com a formação do lago, e o desmembramento e elevação à categoria

de município de Santa Terezinha de Itaipu, em 1982, antes uma vila de Foz do Iguaçu.

Figura 03 - Fluxograma geral dos processos desenvolvidos.



Fonte: Autoria própria.

Para o mapeamento dos usos das terras de 1980, trabalhou-se com dados do satélite Landsat 3 de 18 de janeiro de 1980 e de 05 e 31 de maio de 1980. O sensor MSS (*Multispectral Scanner System*) fornece dados com resolução espacial de 79 metros e resolução radiométrica de 6 bits. Após a correção geométrica das imagens e o georreferenciamento. Desta maneira, foram preparadas composições coloridas falsa-cor com as bandas 7 (infravermelho próximo), 5 (vermelho) e 4 (verde), fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do seu portal de dados espaciais. Por último, os dados foram tratados em um método de classificação supervisionada (OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019).

O mapa de usos das terras de 1999, foi construído com base em dados do satélite Landsat-5 de 18 de maio, 12 de julho e 23 de setembro de 1999. Foram utilizadas cenas do sensor TM (*Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 metros e resolução radiométrica de 8 bits. As cenas foram obtidas na biblioteca digital do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio de seu portal de dados. Os dados

foram reamostrados para a projeção UTM e para o sistema de referência do projeto, SIRGAS2000, Fuso 21S; e interpretados como composições coloridas falsa-cor usando as bandas 5 (infravermelho médio), 4 (infravermelho próximo) e 3 (vermelho).

Sobre essas composições foram coletadas diferentes amostras das diversas categorias de usos das terras e a partir destas, foram criados arquivos de assinaturas espectrais para os diversos usos utilizando todas as bandas do sensor TM e imagens do primeiro componente de um processamento de componentes principais. Essas assinaturas foram aplicadas a totalidade da imagem pelo classificador de máxima verossimilhança. Foi realizado a aplicação do filtro para suavização da imagem e posterior conversão de raster para vetor.

O mapa de usos das terras de 2017 foi gerado com base em dados do satélite Landsat-8 de 23 e 30 de outubro de 2016. Foram utilizadas cenas do sensor OLI (*Operational Land Imager*) fornecidas pelo U.S. Geological Survey, por meio de seu portal de dados EarthExplorer. Os dados foram reamostrados para a projeção e o sistema de referência do projeto e interpretados como composições coloridas falsa-cor usando as bandas 6 (infravermelho médio), 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho). Sobre essas composições foram coletadas diferentes amostras das diversas categorias de usos das terras e, a partir destas, foram criados arquivos de assinaturas espectrais para os diversos usos utilizando todas as bandas do sensor (OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019).

Foi utilizado o software ArcMap 10.6.1.9270 para os procedimentos com os dados dos satélites e para os mapeamentos dos usos (LAW e COLLINS, 2013).

Finalizando com a confecção dos mapas de usos das terras de 1980, 1999 e 2017, conforme a classificação dos usos do Manual Técnico de Uso da Terra, fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE):

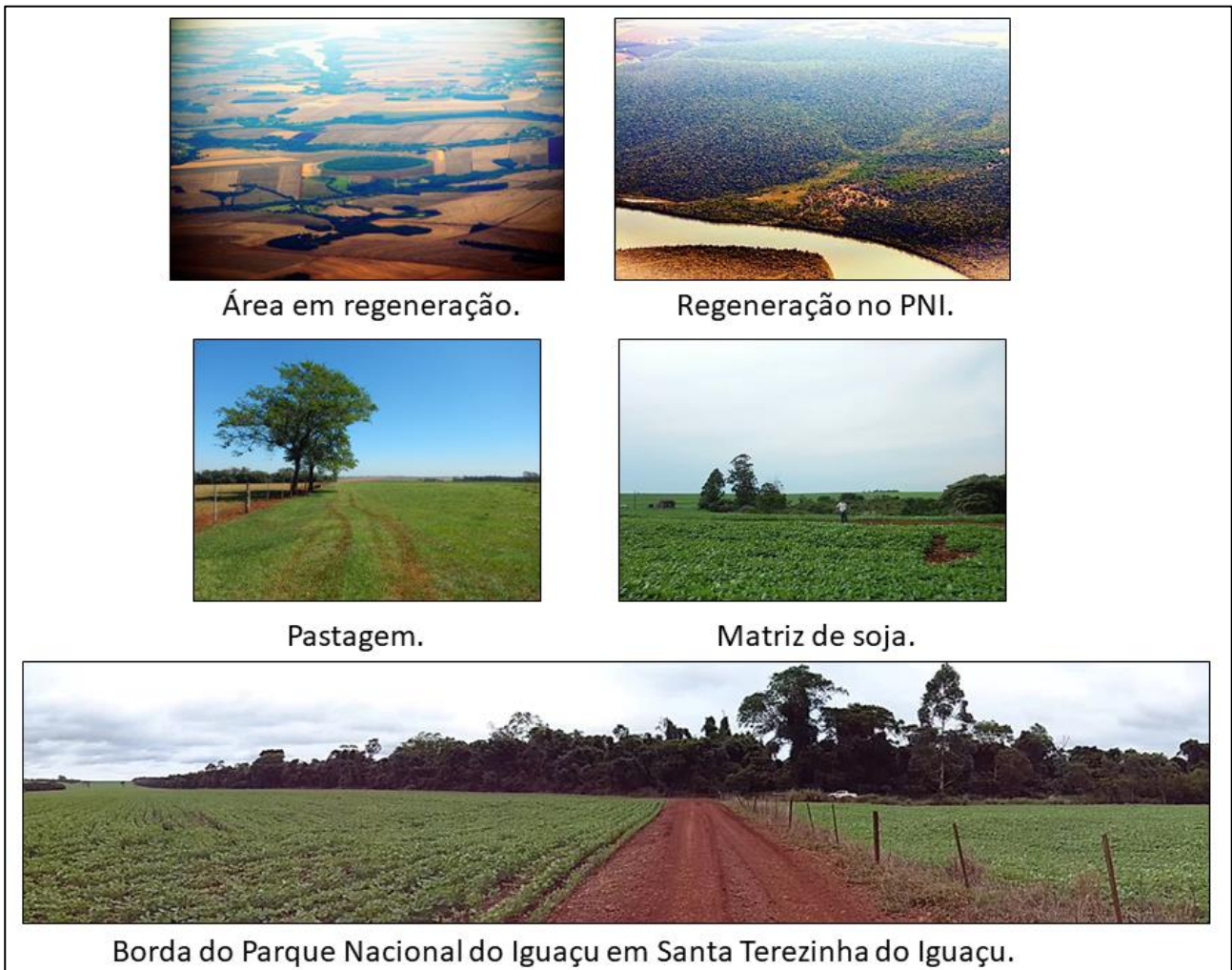
Tabela 01 - Descrição da classificação dos usos das terras.

Uso	Descrição
Agricultura	Terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas.
Corpos d'água	Corpos d'água naturais e artificiais tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc.
Pastagem	Área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais.
Regeneração	Processo de recomposição da vegetação, de uma determinada área. Através do plantio de mudas, semeadura direta ou a própria regeneração natural.
Urbano	Áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas.
Mata	Formações arbóreas com porte superior a 5 m, incluindo-se aí as fisionomias da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da <i>Araucaria angustifolia</i> , elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua). Inclui áreas remanescentes primárias e estágios evoluídos de recomposição florestal.

Fonte: Adaptado IBGE, 2013.

No decorrer da pesquisa foram realizados trabalhos de campo, objetivando a verificação do resultado da classificação dos diferentes usos das terras pelo classificador de máxima verossimilhança. Com isso foram feitos registros fotográficos, por ter o mesmo o potencial de produzir dados que ampliam nossa compreensão sobre processos sociais (RIOS; COSTA; MENDES, 2016).

Figura 04 – Registros fotográficos dos trabalhos de campo.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019.

A modelagem da dinâmica dos usos foi realizada através do *software* TerrSet 18.31, antigo *software* IDRISI Selva, (Eastman, 2011), através da aplicação à cadeia de Markov, seguida dos autômatos celulares combinados à cadeia de Markov.

A cadeia de Markov é um conjunto de variáveis aleatórias para o desenvolvimento de modelos visando ao entendimento de determinado fenômeno. Utilizando-se dois mapas de usos das terras é possível simular as probabilidades de transição das classes em um mapa. Para ocorrer a validação e calibração do modelo é necessário que o mapa futuro seja um mapa conhecido (RIBAS *et al.*, 2015; TERRA; SILVA, 2012).

Para este trabalho, a cadeia de Markov estimou a probabilidade de transição entre as classes de usos das terras, utilizando os mapas de usos das terras de 1980 e 1999, simulando a dinâmica dos usos das terras de 2017 com o modelo de

autômatos celulares.

Segundo Liu (2009), o modelo de autômato celular é composto por cinco elementos básicos:

- I. **Células** - ligadas a forma de representação do espaço;
- II. **Estados** - são os atributos das células;
- III. **Vizinhança** - grupo de células que interagem com a célula focalizada, geralmente a célula central da vizinhança;
- IV. **Regras de Transição** - estabelece a mudança de estado nas células,
- V. **Tempo** - delimita a duração do período da simulação.

A base para a integração entre os modelos de autômatos celulares e o mapa contendo os dados geoespaciais é a semelhança de dados da representação celular: os *pixels* são as células, os estados são os atributos armazenados em cada *pixel*, a vizinhança e sua ação no espaço são preparadas por intermédio de janelas móveis com tamanhos e peso definidos. A transição é o elemento mais importante, pois é com ela que o modelo resultará em simulações confiável. O tempo corresponde ao número de interações do autômato celular sobre o mapa de origem, sendo que o resultado de uma interação serve para a base da próxima interação (ADAMI, 2011).

Para avaliar a acurácia do modelo, procurou-se comparar os resultados do modelo com o mapa de usos das terras de 2017 previamente gerado. Para tanto, optou-se por utilizar o coeficiente Kappa, cuja finalidade é medir o grau de concordância entre proporções oriundas de amostras dependentes. O coeficiente tem como valor máximo o valor unitário, representando total concordância, enquanto os valores próximos ou abaixo de zero indicam nenhuma concordância (Silva; Paes, 2012). As autoras defendem a seguinte interpretação para avaliação do coeficiente:

Tabela 02 - Interpretação para os valores de Kappa.

Valores de Kappa	Interpretação
<0	Ausência de concordância
0-0,19	Concordância pobre
0,20-0,39	Concordância leve
0,40-0,59	Concordância moderada
0,60-0,79	Concordância substantiva
0,80-1,00	Concordância quase perfeita

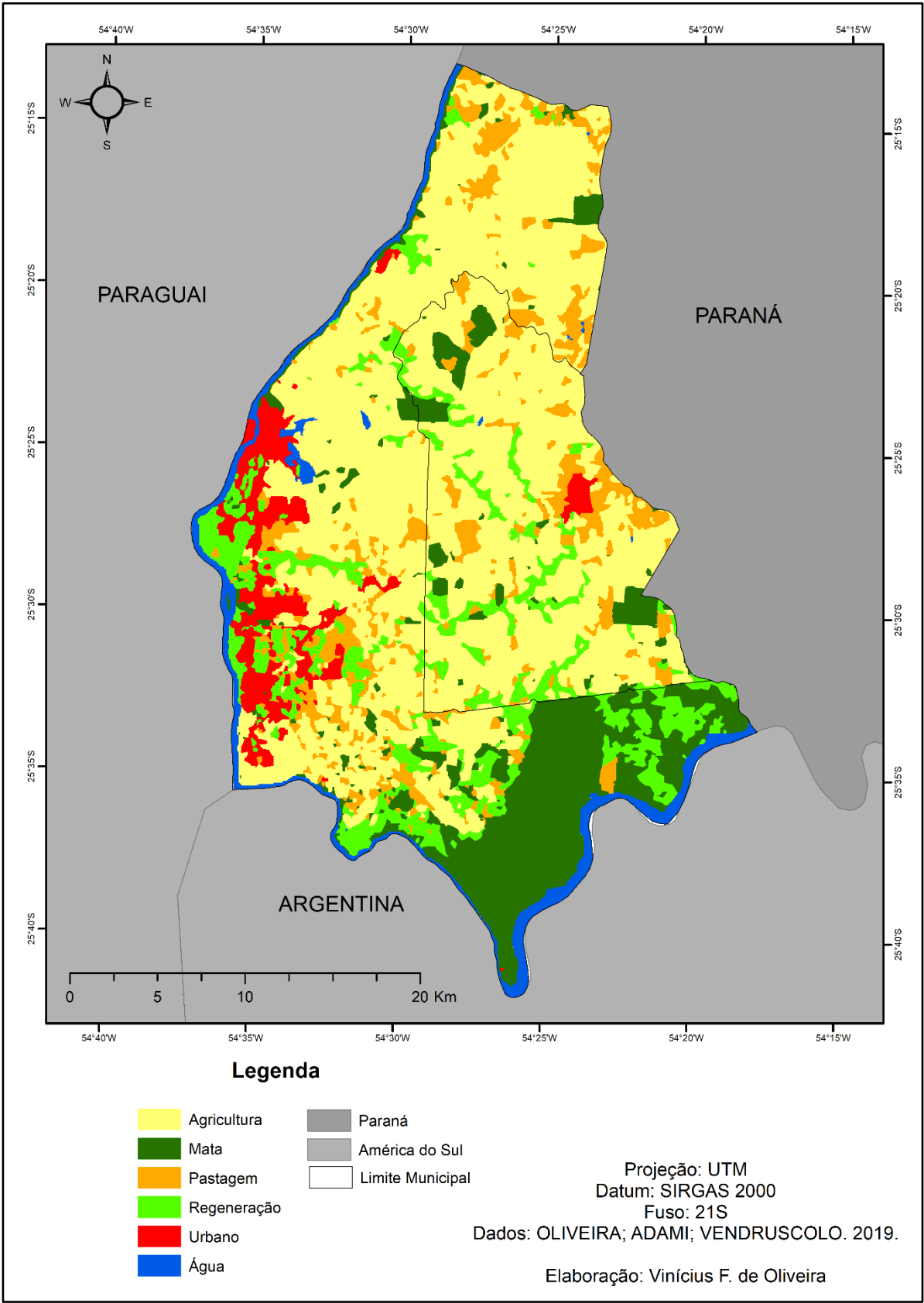
Fonte: Adaptado de Silva; Paes, 2012.

Essa pesquisa é do tipo exploratória, por ser tratar da primeira aproximação do pesquisador com essa perspectiva analítica, proporcionando assim “[...] maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses [...]” (GIL, 2008, p.41). Além disso, a pesquisa aqui proposta pode ainda ser caracterizada como um estudo de caso, por demandar um “[...] estudo profundo e exaustivo de poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento” (FARIAS FILHO; ARRUDA FILHO, 2013, p. 66).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

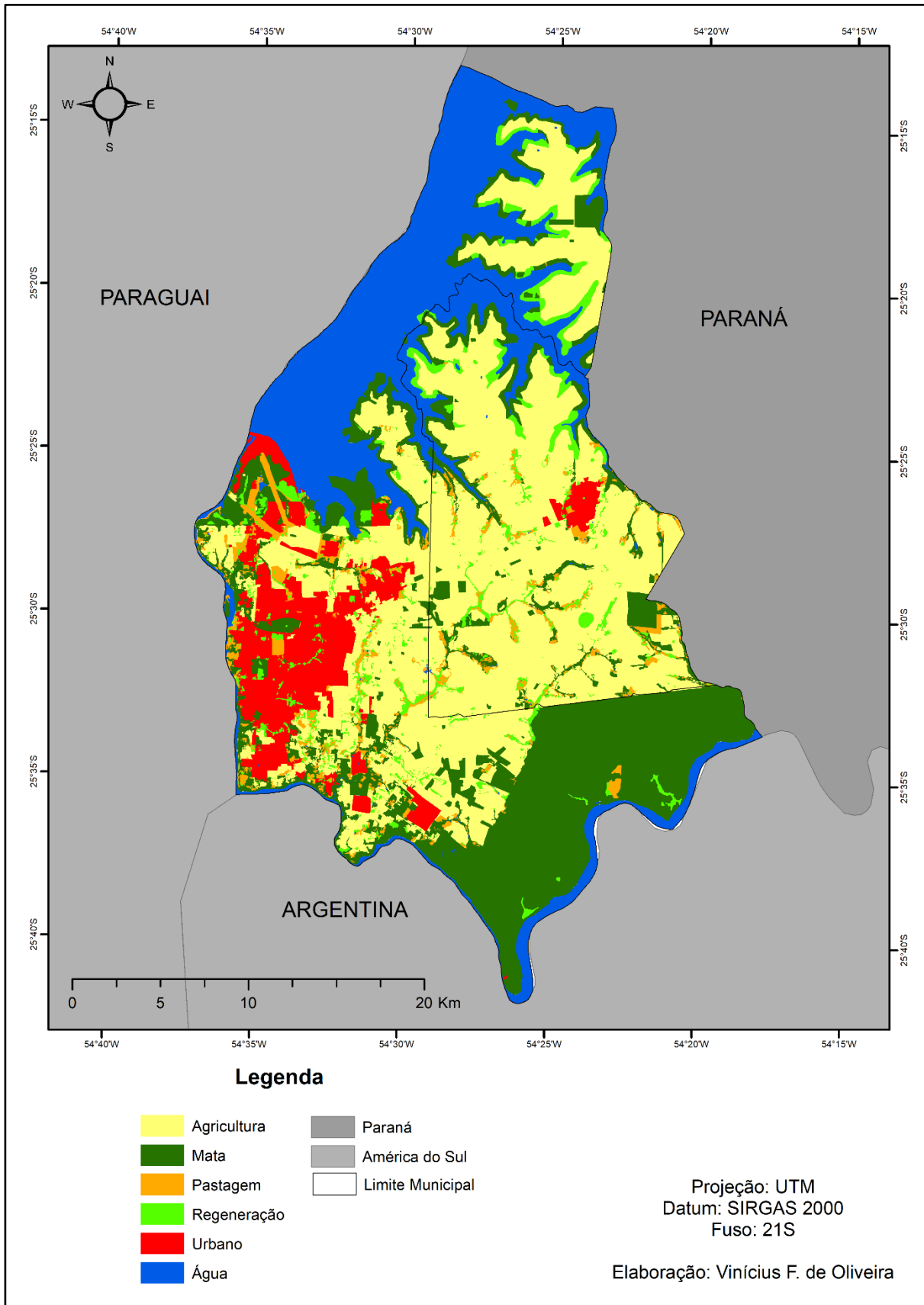
O resultado principal, relacionado aos objetivos propostos, é simular a dinâmica dos usos das terras em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, obtida como consequência da integração de modelos de autômatos celulares. Entretanto, para operacionalizar os procedimentos e comparar os resultados da proposta do trabalho, foi necessário o levantamento de dados sobre a área de estudos, tais como os mapas de usos das terras de 1980 e de 1999 (Figuras 05 e 06) e, para comparação, o mapa de usos das terras de 2017 (Figura 07).

Figura 05 - Mapa de usos das terras 1980.



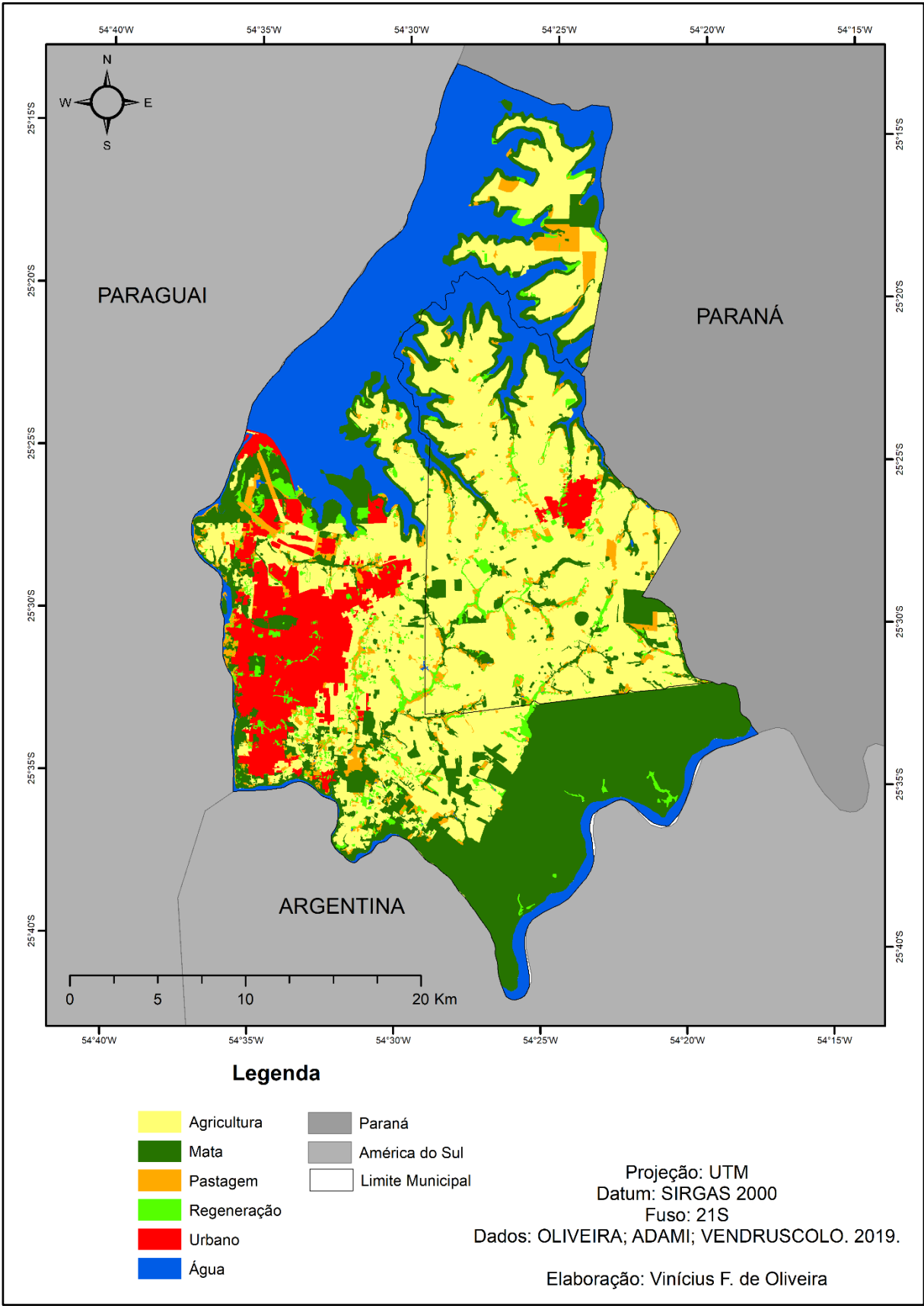
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019.

Figura 06 - Mapa de usos das terras 1999.



Fonte: Autoria própria.

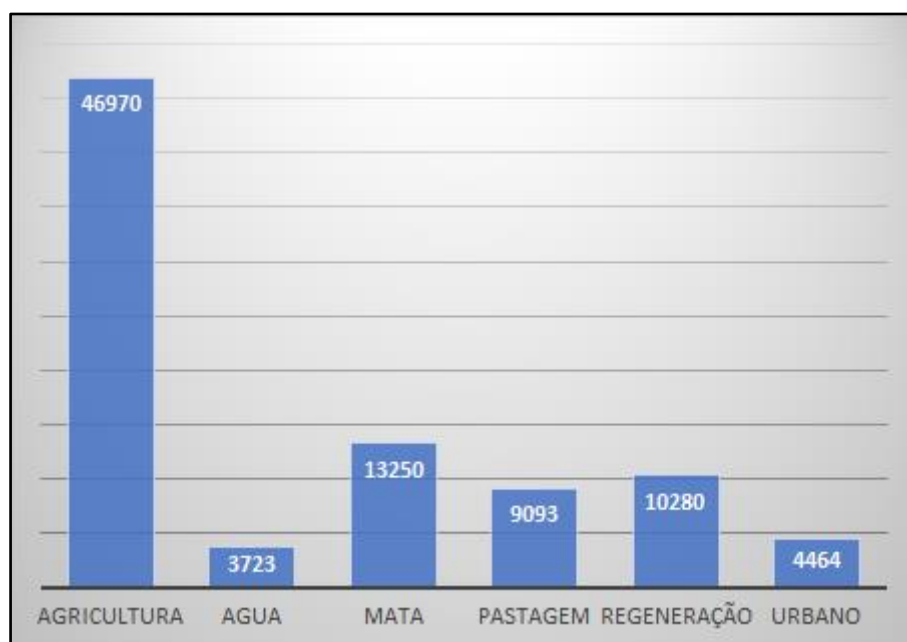
Figura 07 - Mapa de usos das terras 2017.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019.

É possível observar no mapa de usos de 1980 como se encontrava cada classe do uso e a maneira pela qual se distribuía no espaço: havia ocorrência de áreas de regeneração dentro do Parque Nacional do Iguaçu; a mancha urbana de Foz do Iguaçu concentrava-se ao sul da cidade, no antigo centro próximo ao porto; é evidente a área ocupada pelo canteiro de obras da Usina de Itaipu. Nota-se a existência de uma aglomeração urbana às margens do Rio Paraná, ao norte, esta área ficou completamente submersa. Neste período o uso de maior área era agricultura e o de menor uso água (figura 08).

Figura 08 - Área dos usos das terras em 1980, em ha.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019.

Por meio do mapa de usos da terra de 1999, pode-se observar que finalizou-se a construção da Usina de Itaipu e ocorreu o enchimento de seu lago; a malha urbana de Foz do Iguaçu aumentou e migrou sua concentração para a região norte do município, região que concentrava grande parte dos funcionários que participaram da construção da Usina; algumas áreas do Parque Nacional encontra-se completamente regenerada, resultado do processo de consolidação do maciço florestal; neste período Santa Terezinha de Itaipu já é um município constituído e possui aumento de área urbana. Além disso, importante observar um crescimento das áreas de mata e regeneração em torno dos rios e do lago da Itaipu, isso se deve à implementação das leis ambientais entre as décadas de 1980 e 1990 (figura 09).

Figura 09 - Área dos usos das terras em 1999, em ha.

Fonte: Autoria própria.

O resultado da probabilidade de transição entre as classes de usos das terras gerado pela análise via cadeia de Markov, é mostrado por meio de uma matriz, na qual é possível observar a probabilidade de mudança ou permanência dos atributos de uma determinada célula. Nas linhas temos o ano de 1980 e nas colunas o ano de 1999. A permanência dos atributos está destacada na diagonal.

Tabela 3 – Matriz da probabilidade da dinâmica dos usos das terras entre 1980 e 1999.

	Probabilidade de mudar para:					
	Agricultura	Água	Mata	Pastagem	Regeneração	Urbano
Agricultura	55%	25%	10%	2%	5%	4%
Água	2%	72%	19%	4%	1%	3%
Mata	10%	6%	82%	1%	1%	1%
Pastagem	46%	20%	10%	4%	9%	12%
Regeneração	35%	7%	33%	7%	8%	10%
Urbano	5%	12%	9%	6%	4%	65%

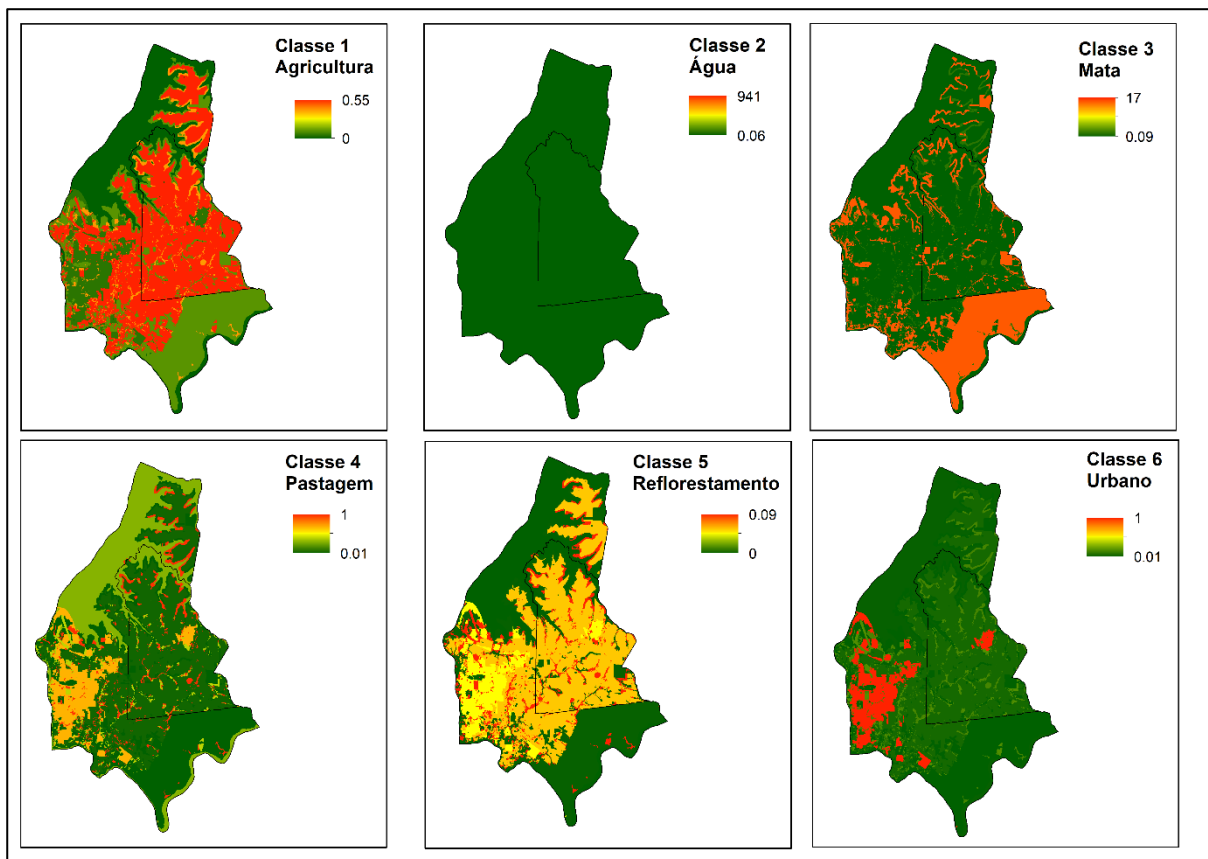
Fonte: Autoria própria.

Importante destacar que grande parte da área de mata de 1980, se manteve nessa categoria em 1999, muito se deve à existência da área de preservação do Parque Nacional, bem como a completa regeneração das áreas dentro do Parque. Outro ponto importante é a mudança de áreas para o atributo água, devido ao enchimento do lago da Itaipu. Houve também o aumento da área urbana, devido ao crescimento de Foz

do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu.

Outra ferramenta, para análise da probabilidade de mudança, gerada pela aplicação da cadeia de Markov são os mapas representativos de cada atributo e sua possível mudança ou permanência (Figura 10), cada classe representa um atributo de uso. Quanto mais baixo o valor, menor a probabilidade de mudança, e, quanto mais alto o valor, maior a probabilidade de mudança ou permanência na classe atual.

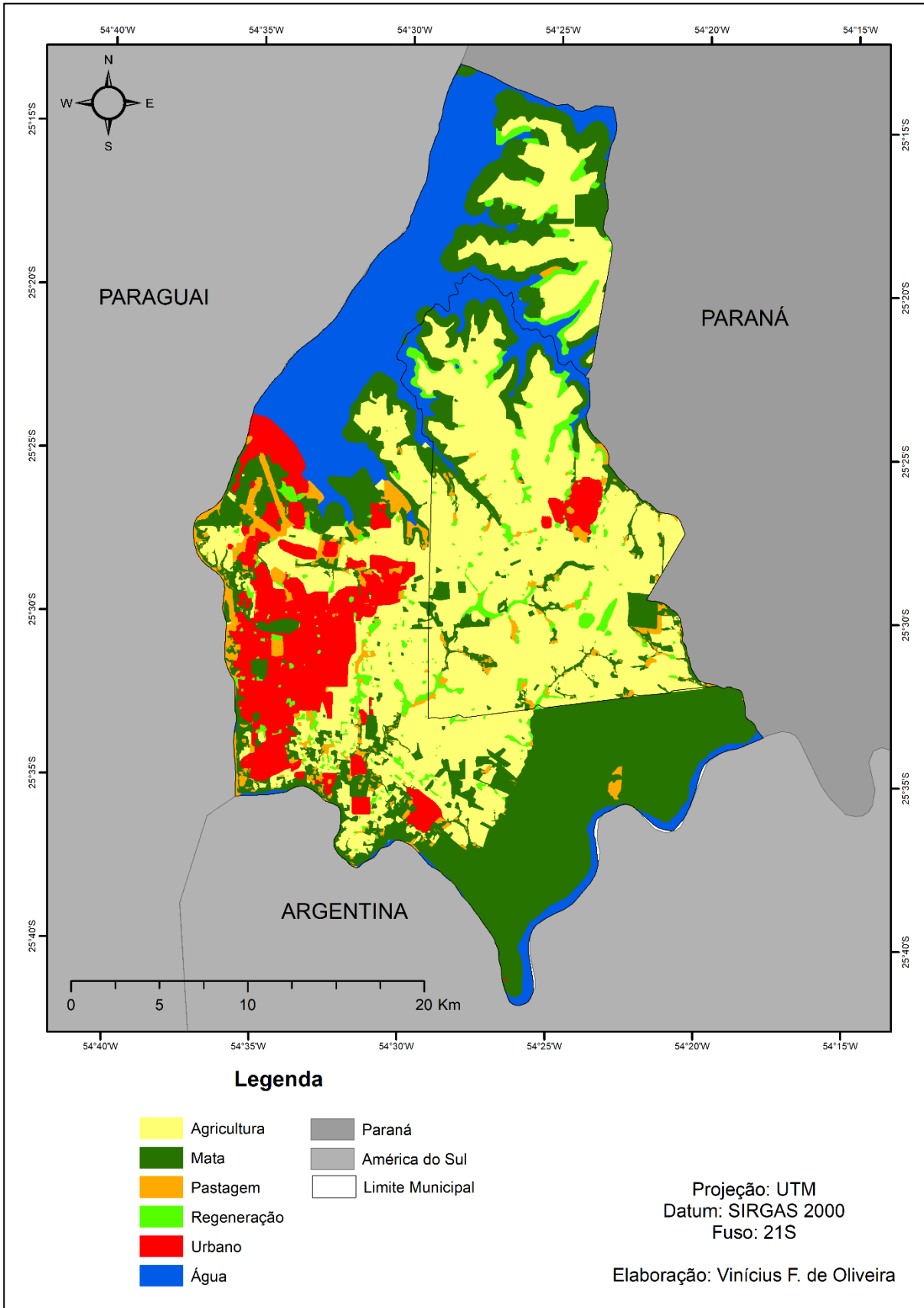
Figura 10 – Simulações da probabilidade de mudança.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados oriundos após modelagem de autômatos celulares são mostrados no mapa de simulação para os usos das terras de 2017 (Figura 11).

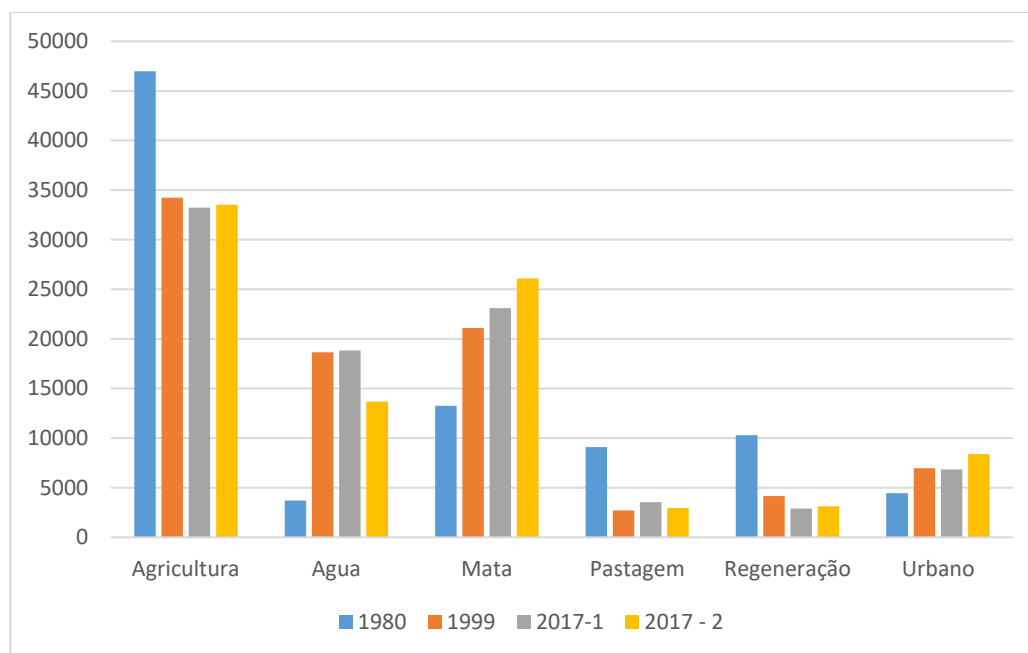
Figura 11 – Mapa dos usos das terras simulados para 2017.



Fonte: Autoria própria.

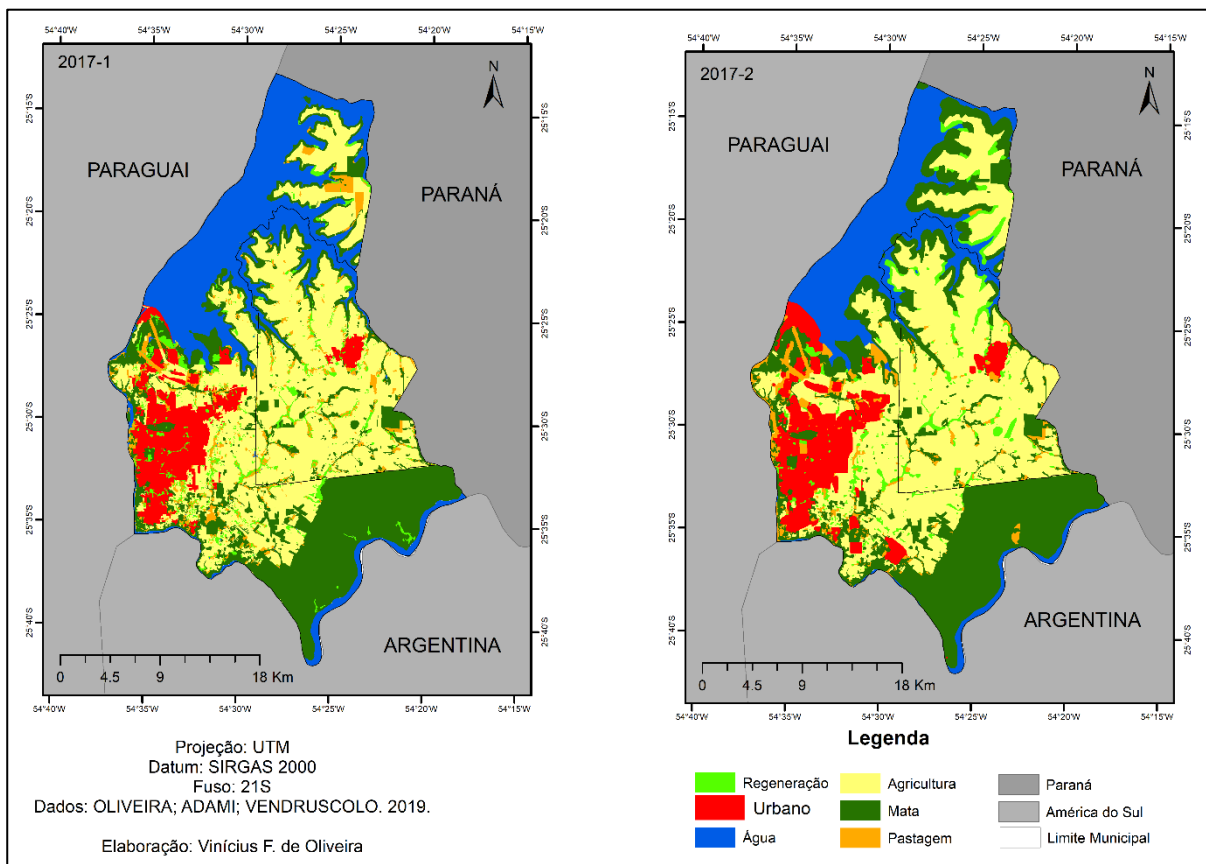
Nota-se que há uma homogeneização da área urbana de Foz do Iguaçu, e a suavização da borda do Parque Nacional. Ocorre a transposição das bordas da mata ciliar do lago da Itaipu, o que acarreta numa menor área do atributo água. As áreas de usos das terras para cada os anos de 1980, 1999 e 2017 (identificado como 2017-1), bem como o simulado para 2017 (identificado como 2017-2) (figura 12).

Figura 12 – Áreas dos usos das terras para cada ano trabalhado.



Fonte: Autoria própria

Figura 13 – Mapas de usos das terras do ano de 2017 e do ano 2017 simulado.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; ADAMI; VENDRUSCOLO, 2019.

Por meio da aplicação do coeficiente Kappa, sobre a relação dos dados gerados na simulação da modelagem de autômatos celulares e dos dados do mapa de usos das terras de 2017 previamente confeccionado, foi possível verificar a acurácia do modelo. A função do coeficiente Kappa integrada no TerrSet fornece uma matriz de erro, sendo possível observar o quanto de *pixels* foram alocados no uso original e em outros usos, o que demonstra um erro no atributo.

Com o coeficiente Kappa é possível observar também dois erros: os erros de omissão (gerados pelo modelo), indicam a quantidade de *pixels* de cada uso ter sido corretamente classificado em relação aos dados de referência, e, os erros de comissão (oriundos do mapa prévio), indicam a quantidade de *pixels* no modelo que representam corretamente um uso real no terreno.

Na tabela 4, podemos observar a matriz com a quantidade de *pixels* em cada atributo (uso), a quantidade de *pixels* de cada atributo que está em outro atributo (exemplo: *pixel* de agricultura do mapa modelo simulado está como pixel de água no mapa real) e a porcentagem dos erros de omissão e de comissão.

Tabela 4 – Matriz do coeficiente Kappa, em número de *pixels*.

Mapa Uso 2017								
		Agricultura	Água	Mata	Pastagem	Regeneração	Urbano	Erro do mapa
M O D E L O	Agricultura	342910	737	12216	10396	4251	1661	8%
	Água	63	151057	948	86	23	0	1%
	Mata	6897	43838	231295	907	7042	288	20%
	Pastagem	717	6528	3036	17423	2733	2654	47%
	Regeneração	6236	2005	7700	3281	15850	63	55%
	Urbano	12360	5104	1607	2024	2421	69639	25%
	Erro Modelo	7%	28%	10%	49%	51%	6%	15%

Fonte: Autoria própria.

Alguns valores dos atributos são oriundos de erros durante o processo de tratamento e mapeamento. São erros diversos, tais como a identificação incorreta dos tipos de usos por parte do analista; mudanças na geometria dos dados pelo processo de transformação entre formatos vetorial e matricial; a resolução espacial das diferentes imagens trabalhadas, e, a própria geometria dos polígonos de cada atributo. Como consequência dos diversos erros, alterações pouco prováveis são verificadas: em células mapeadas com o uso Urbano e depois classificadas com outro uso; acarretando numa diminuição ou aumento de áreas dos diferentes usos.

Dessa forma, é explicado o porquê as áreas do mapa prévio com mais erros sejam as áreas de Pastagem e Regeneração, geralmente são áreas pequenas, com elevado grau de dificuldade de diferenciação e identificação nos dados de satélite. O que relaciona com o erro do modelo nas mesmas áreas. O erro do modelo no uso Água deve-se ao excesso de borda de mata ou regeneração, e a própria geometria da borda do lago, o que afeta a identificação do *pixel*. Essas relações também são possíveis de se verificar na figura 12, mostrada anteriormente.

Entretanto, o coeficiente Kappa apontou uma acurácia no modelo de cerca de 79,38% que, de acordo com a interpretação sugerida por Silva e Paes (2012), é de concordância substantiva ao mapa prévio, atendendo à realidade presente na área.

Comparando com a acurácia obtida nos trabalhos da revisão bibliográfica, o coeficiente Kappa obtido por Terra e Silva (2012), foi de 53%; já os coeficientes Kappa obtido por Tangerino e Lourenço (2013), foram de 13% e 55%. Portanto foi considerado aceitável o coeficiente obtido neste trabalho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de modelos de autômatos celulares integrado ao Sistema de Informação Geográfica é um método efetivo e prático para a modelagem dos usos das terras, podendo ser utilizado quando se busca conhecer a dinâmica dos usos no território.

O modelo de autômato celular utilizado apresenta uma capacidade muito boa de simular a real dinâmica dos usos das terras ocorrida na área de estudo, os resultados obtidos nesse trabalho refletem tal característica.

É evidente que fatores econômicos e políticos podem mudar o cenário real, afinal, são eles os principais agentes na (re)organização e planejamento do território.

Desta maneira o objetivo de simular a dinâmica dos usos das terras em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, mediante a modelagem com autômatos celulares foi cumprida, foi possível confeccionar o banco de dados geoespacial, a produção de mapas dos usos das terras, a geração do modelo com autômatos celulares e a verificação da acurácia do modelo.

Devido ao coeficiente Kappa ser relativamente alto, o modelo foi considerado confiável e aplicável para simular outros períodos.

Ficou nítido, durante o trabalho, a aplicabilidade de modelos de autômatos celulares para estudos em diferentes áreas da geografia; como a urbana, a ambiental e a demográfica; bem como seus resultados serem utilizados como suporte ao planejamento territorial e a gestão deste território.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, S. F. “**Autômatos celulares e sistemas de informações geográficas aplicados à modelagem da dinâmica espacial da cana-de-açúcar na região de Araçatuba-SP.**” Tese de Doutorado. 2011. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. 172p.
- BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 23, n. 3, p. 205-233, May 1999.
- BENENSON, I.; TORRENS, P. M. **Geosimulation**: automata-based modeling of urban phenomena. England: Wiley, 2004. 288p.
- CASTRO, M. L. A.; CASTRO, R. de O. Autômatos celulares: implementações de Von Neumann, Conway e Wolfram. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**. Vol. III, n. 3, 2008. p. 89-106.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J.S. de. Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83 – 96, jan./abr., 2003.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO; CARVALHO, A. P.; POTTER, O.; AGLIO, M. L. D.; SILVA, J. S.; CHAFFIN, C. E.; CARVALHO JUNIOR, W. **Mapa de solos do Estado do Paraná**. 1.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. 73 p. ISSN 1517-2627.
- EASTMAN, J.R. **IDRISI Selva**: Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark Labs. 2011. 327 p.
- FARIAS FILHO, M. C.; ARRUDA FILHO, E. J. M. **Planejamento da pesquisa científica**. São Paulo: Atlas, 2013.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro. 2013.
- LAW, M.; COLLINS, A. **Getting to know ArcGIS**: For desktop. 3rd ed. New York: Esri Press, 2013. x, 749 P. ISBN: 9781589483088.
- LIU, Y. **Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata**. Boca Raton: CRC, 2009.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012. 513 p.
- MACEDO, R. de C.; ALMEIDA, C. M. de.; SANTOS, J. R. dos.; RUDORFF, B. F. T. Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à

expansão canavieira. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 2, p.313-337, abr-jun, 2013.

MARTINELLI, M. **Mapas da geografia e cartografia temática**. 6. ed. São Paulo:Contexto, 2013. 142 p. ISBN: 9788572442183.

MAS, J. F. Monitoring land-cover change: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. v. 20, p. 139-152. 1999.

NIMER, E. Climatologia da região sul do Brasil – introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, 34, 1, p. 3-65, 1972.

OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C. (coord.) **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

OLIVEIRA, V. F. de; ADAMI, S. F.; VENDRUSCOLO, G. S. ELABORAÇÃO DE ATLAS AMBIENTAL DIGITAL PARA A MICRORREGIÃO DE FOZ DO IGUAÇU/PR. In: ZUFFO, Alan Mario; AGUILERA, Jorge González (Org.). **As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. Cap. 8. p. 64-71. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/as-ciencias-exatas-e-da-terra-no-seculo-xxi>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Tese de Doutorado. 2004. Porto Alegre: UFRGS – PPGECCO. 352p.

PRIORI, A.; POMARI, L. R.; AMÂNCIO, S. B.; IPÓLITO, V. K. História do Paraná: séculos XIX e XX [online]. Maringá: Eduem, 2012. **A história do Oeste Paranaense**. pp. 75-89. ISBN 978-85-7628-587-8. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

REOLON, C. A. Colonização e urbanização da mesorregião oeste do Paraná (1940-2000). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 13, p. 49-57, 2007. Editora UFPR.

RIBAS, R. P.; GONTIJO, B. M.; MOURA, A. C. M. Análise da dinâmica espacial de um potencial conector de paisagem utilizando cadeias de Markov e Autômatos Celulares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 1852-1859. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. IBI: <8JMKD3MGP6W34M/3JM49CP>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP6W34M/3JM49CP>>.

RIOS, S. O.; COSTA, J. M. A.; MENDES, V. L. P. S. A fotografia como técnica e objeto de estudo na pesquisa qualitativa. **Discursos fotográficos**, Londrina, v.12, n.20, p.98-120, jan./jul. 2016

SILVA, D. C.; VAINÉ, M. E. E. (coord.) **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

SILVA, R. S.; PAES, A. T. Teste de concordância Kappa. In: **Por dentro da estatística**. 2012. p. 165-166.

TANGERINO, D. F.; LOURENÇO, R. T. Comparação da exatidão de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada a partir do índice Kappa na microbacia do Ribeirão Duas Águas em Botucatu/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4093-4100. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). IBI: <3ERPFQRTRW34M/3E7GJNM>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/3ERPFQRTRW34M/3E7GJNM>>.

TERRA, T. N.; SILVA, J. dos S. V. da. Cenário de desmatamento da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em 2022 e 2050. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2012, Bonito. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2012. p. 741-749. Internet. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2012/cd/p127.pdf>>.

TOBLER, W.R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, v. 46, n. 2, p. 234-240, 1970.

_____. Cellular geography. In: GALE, S.; OLSSON, G. **Philosophy in geography**. Dordrecht: D. Reidel, 1979. p. 379-386.

TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. de. Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. No 62 EDIÇÃO ESPECIAL 01, 2010. ISSN 0560-4613.